

«Чёртова петля»

Быть может, вам знаком головокружительный велосипедный трюк, иногда исполняемый в цирках: велосипедист едет в петле снизу вверх и описывает полный круг, несмотря на то, что по верхней части круга ему приходится *ехать вниз головой*. На арене устраивают деревянную дорожку в виде петли с одним или несколькими завитками, как изображено на нашем рисунке. Артист спускается на велосипеде по наклонной части петли, затем быстро взлетает на своём стальном коне вверх, по круговой её части, совершает полный оборот. Буквально вниз головой, и благополучно съезжает на землю. («Чёртова петля» изобретена в 1902г. Одновременно двумя цирковыми артистами – «Дьяволом» (Джонсоном) и «Мефисто» (Пуазеттом)).

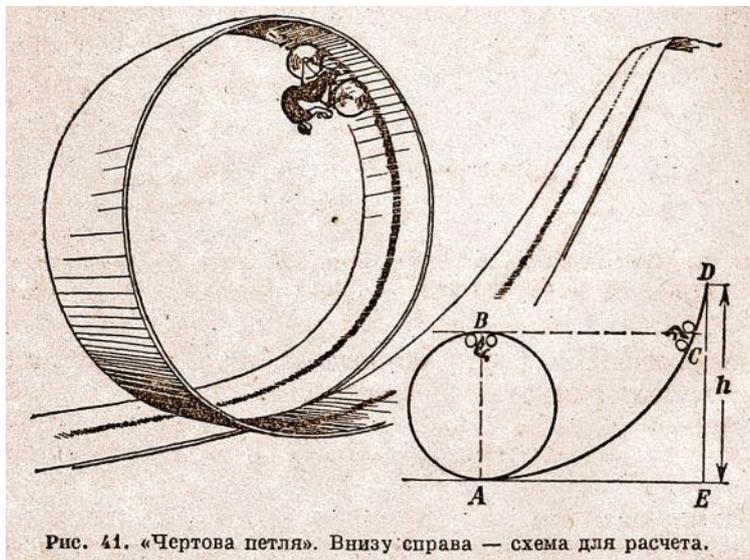


Рис. 41. «Чёртова петля». Внизу справа — схема для расчета.

Этот головоломный велосипедный фокус кажется зрителям верхом акробатического искусства. Озадаченная публика в недоумении спрашивает себя: какая таинственная сила удерживает смельчака вниз головой? Недоверчиво настроенные готовы подозревать здесь ловкий обман. А между тем в трюке нет ничего сверхъестественного. Он всецело объясняется законами механики. Биллиардный шар, пущенный по этой дорожке, выполнил бы тоже с не меньшим успехом. В школьных физических кабинетах имеются миниатюрные «чёртовы петли».

Знаменитый исполнитель и изобретатель этого трюка, артист «Мефисто». Для испытания прочности «чёртовой петли» имел тяжёлый шар, вес которого равнялся весу артиста с велосипедом. Шар этот пускали по дорожке петли. И если он благополучно пробежал её, то артист решался проделать петлю сам.

Читатель, конечно, догадывается, что причина странного явления – та же. Которая объясняет общеизвестный опыт с вращающимся ведёрком. Однако трюк удаётся не всегда; необходимо в точности рассчитать высоту. С которой велосипедист должен начать своё движение: иначе трюк окончится катастрофой.

Математика в цирке

Я знаю, что ряды «бездушных формул» отпугивают иных любителей физики. Но, отказываясь от знакомства с математической стороной явлений, такие недруги математики лишают себя удовольствия заранее предусматривать ход явления и определять его условия. В данном, например, случае две-три формулы помогут нам в точности определить, при каких условиях возможно успешное выполнение столь удивительного трюка, как пробег в «чёртовой петле».

Приступим же к расчётам.

Обозначим буквами те величины, с которыми придётся вести расчёты:

буквой h обозначим *высоту*, с которой скатывается велосипедист;

буквой x обозначим ту часть высоты h , которая возвышается над верхней точкой «петли»; из рисунка, очевидно, что $x = h - AB$;

буквой r обозначим радиус круга петли;

буквой m – общую *массу* артиста вместе с велосипедом; вес их выразится тогда через mg , причём:

буквой g обозначено *ускорение силы земной тяжести*; оно равно, как известно, 9,8 м в секунду;

буквой V обозначим скорость велосипеда в тот момент, когда он достигает самой верхней точки круга.

Все эти величины мы можем связать двумя уравнениями. Во-первых, мы знаем из механики, что скорость, которую приобретает велосипед к моменту, когда, катясь по наклонной дорожке, он находится в C на уровне точки B (это положение изображено в нижней части петли, в точке B . Первая скорость выражается формулой)

$$V = \sqrt{2gx}, \text{ или } V^2 = 2gx.$$

Следовательно, и скорость V велосипеда в точке B равна

$$\sqrt{2gx}, \text{ т.е. } V^2 = 2gx.$$

Далее, для того чтобы велосипедист достигнув высшей точки кругового пути, не упал вниз, нужно, чтобы развивающееся при этом центростремительное ускорение было больше, нежели ускорение тяжести, т. е. надо чтобы

$$V^2/r > g, \text{ или } V^2 > gr.$$

Но мы уже знаем, что $V^2 = 2gx$; следовательно, $2gx > gr$, или

$$x > r/2.$$

Итак, мы узнали, что для успешного выполнения этого головоломного фокуса необходимо устроить «чёртову петлю» так, чтобы вершина наклонной части пути возвышалась над верхней точкой петли больше чем на $\frac{1}{2}$ её радиуса. Крутизна наклона роли не играет, - нужно только, чтобы пункт, с которого велосипедист начинает спускаться, возвышался над вершиной петли больше чем на $\frac{1}{4}$ её поперечника. Если, например, петля имеет в поперечнике 16м, то артист должен начать спуск не меньше чем с 20-метровой высоты. Не выполни он этого условия, никакое искусство не поможет ему описать «чёртову петлю»: достигнув её верхней части, он неминуемо упадёт.

Расчёт этот не учитывает влияния силы трения в велосипеде: считается, что скорости в точке C и точке B одинаковы. Поэтому нельзя, слишком удлинять путь и делать очень отлогий спуск. При отлогом спуске в результате действия трения скорость велосипеда по достижении точки B будет меньшей, чем в точке C .

Надо заметить, что при исполнении этого трюка велосипедист едет без цепи, предоставляя машину действию силы тяжести: ни ускорять, ни замедлять своего движения он не может, да и не должен. Всё его искусство в том, чтобы держаться середины деревянной дорожки; при малейшем уклонении артист рискует съехать с дорожки и быть отброшенным в сторону. Скорость движения по кругу весьма велика: при круге с поперечником 16м ездок совершает оборот в 3 секунды. Это соответствует скорости 60 км в час! Управлять велосипедом при такой скорости, конечно, мудрено; но этого и не надо; можно смело положиться на законы механики. «Сам по себе велосипедный трюк, - читаем мы в брошюре, составленной профессионалом, - при правильном расчёте и прочной конструкции аппарата не опасен. Опасность трюка лежит в самом артисте. Если рука артиста дрогнет, если он будет взволнован, потеряет самообладание. Если ему неожиданно сделается дурно, то можно ожидать всего».

На этом же законе покоится всем известная «мёртвая петля» и другие фигуры высшего пилотажа. В «мёртвой петле» первостепенную роль играет правильный «разгон» пилота по кривой и умелое управление самолётом.

(Я.И. Перельман, Занимательная физика, кн. 2, 1916)